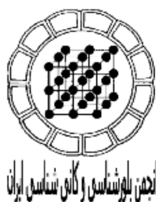
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و سوم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۴، از صفحهٔ ۳۴۵ تا ۳۵۸



شکل‌گیری گارنت‌های موجود در توده‌ی گرانیتوئیدی دهنو، شمال‌غرب مشهد

مریم فرخی[۱]، سید مسعود همام*[۱]، سعید سعادت[۲]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۳/۳/۱۰ ، نسخه نهایی: ۹۳/۵/۲۲)

چکیده: توده‌ی گرانیتوئیدی دهنو که در شمال‌غرب مشهد، در مجاورت بلافصل با هورنفلس‌های سرشار از گارنت واقع شده است، حاوی درشت بلورهایی از گارنت است که فرصتی را برای بررسی پدیده‌ی آلایش ماگما با سنگ‌های دیواره فراهم کرده است. بلورهای گارنت حاوی میانبارهای فراوانی بوده که نشان‌دهنده‌ی فازهای آذرین هستند و به‌صورت دوائر متحد المرکز درون بلور آرایش یافته‌اند. حاشیه‌ی سرشار از بیوتیت و هورنبلند در پیرامون بلورهای گارنت نشان می‌دهد که این گارنت‌ها در تعادل با ماگمای میزبانشان نبوده و به‌وسیله‌ی فازهای فرومنیزین ماگمای گرانیتی جایگزین شده‌اند. به‌دلیل این که ماگمای شبه رخشانی تشکیل دهنده‌ی گرانیتوئیدهای منطقه، آلومینیوم کافی برای تشکیل و پایداری گارنت را ندارد. به نظر می‌رسد که بلورهای گارنت در منطقه‌ی مورد بررسی، بلورهای پرتیکیتکی هستند که نخست در سنگ میزبان وجود نداشته و فراورده‌های ذوب نامتجانس زینوکریست‌ها و زینولیت‌های مشتق شده از سنگ‌های دیواره هستند.

واژه‌های کلیدی: *توده‌ی گرانیتوئیدی؛ دهنو؛ آلایش؛ بلورهای پرتکتیک.*

مقدمه

کانی‌های گروه گارنت بسیار فراوان و گسترده بوده و به‌عنوان یک کانی معمول در سنگ‌های دگرگون شناخته می‌شوند. به‌طور پراکنده در سنگ‌های آذرین نیز یافت می‌شوند. گارنت‌های آذرین اغلب در پگماتیت‌ها و دایک‌های آپلیتی تشکیل می‌شوند [۲،۱]. برخی از گرانیتوئیدهای پرآلومینوس بسیار فلسیک ($SiO_2 \geq 70\%$)، نیز حاوی گارنت هستند [۴،۳]. بیشتر گرانیت‌های سرشار از گارنت از نوع S بوده که از ذوب بخشی سنگ‌های رسوبی دگرگون شده‌ی پوسته حاصل شده‌اند [۶،۵]. تعداد کمی از گرانیتوئیدهای سرشار از گارنت، خاستگاه پیچیده‌تری را نسبت به گرانیت‌های نوع S دارند. برخی از آن‌ها گرانیتوئیدهای نوع I هستند که دستخوش جدایش یا آلودگی غیرعادی شده‌اند و درکمان‌های آتشفشانی دیده شده‌اند [۸،۷]. برخی دیگر نیز در گرانیت‌های نوع A دیده می‌شوند که در محیط‌های کششی یا غیر کوهزایی تشکیل شده‌اند [۹] .

موضوع بحث برانگیزی که در سنگ‌زایی گرانیت‌های گارنت‌دار وجود دارد، خاستگاه گارنت موجود در آن‌هاست. گارنت می‌تواند با خاستگاه‌های متفاوتی در ماگماهای گرانیتی وجود داشته باشد. برخی از گارنت‌ها به‌صورت فنوکریست (اولیه) [۱۰] بوده و برخی دیگر دارای خاستگاه زینوکریست [۱۲،۱۱] هستند. علاوه براین گارنت‌ها می‌توانند به‌عنوان یک فاز مقاوم باقی مانده [۱۳] و یا یک محصول ثانویه [۱۵،۱۴] در گرانیت‌ها حضور داشته باشند.

توده‌ی گرانیتوئیدی دهنو که در شمال‌غرب مشهد در مجاورت بلافصل با هورنفلس‌های سرشار از گارنت واقع شده

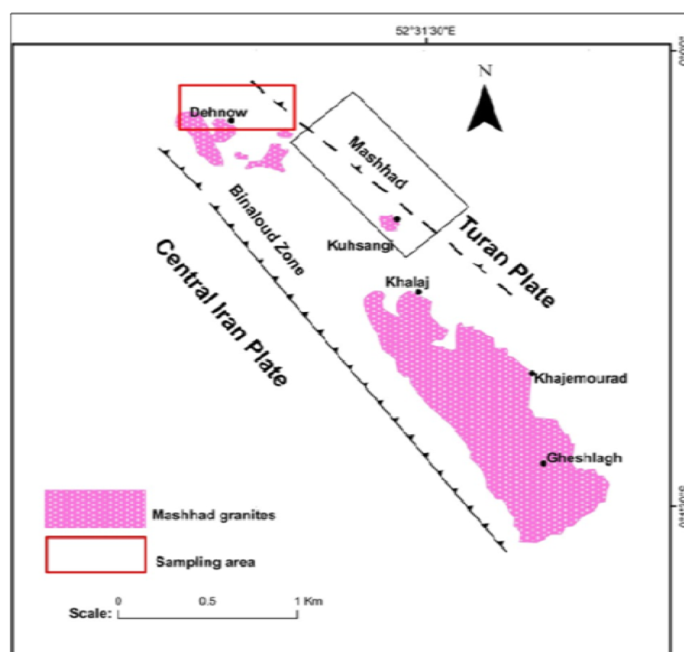
* نویسنده مسئول، تلفن-نمابر: ۸۷۹۷۲۷۵-۰۵۱۳، پست الکترونیکی: homam@um.ac.ir

است، حاوی درشت بلورهایی از گارنت است. در کمتر جای ایران، توده‌های گرانیتوئیدی با چنین بلورهای درشتی از گارنت دیده شده‌اند. [۱۶] این گارنت‌ها را زینوکریست‌هایی معرفی کردند که خاستگاه تصادفی داشته و طی هضم سنگ‌های دگرگون سرشار از گارنت، به‌وجود آمده‌اند. [۱۷] این گارنت‌ها را جزء فرعی توده‌ی نفوذی در نظر گرفته و آن‌ها را حاصل تبلور از خود مذاب تونالیتی دانسته‌اند. بدین ترتیب اتفاق نظر کاملی در ارتباط با خاستگاه گارنت‌های موجود در گرانیت‌های دهنو وجود ندارد، در این مقاله، ضمن بررسی کلیه‌ی شواهد صحرائی، بافتی و شیمیایی، به ارائه‌ی ایده‌ای جدید در خصوص خاستگاه گارنت‌های موجود در گرانیت‌های دهنو خواهیم پرداخت.

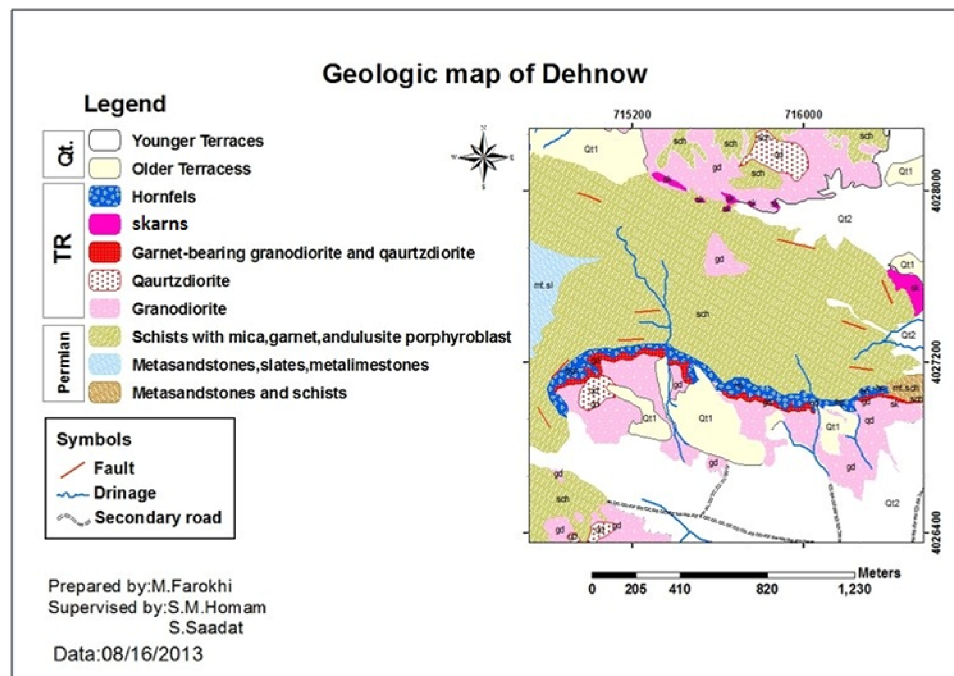
زمین‌شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد بررسی در ۱۵ کیلومتری شمال‌غرب مشهد در استان خراسان رضوی واقع شده است. این ناحیه در گستره‌ی زیر منطقه‌ی ساختاری بینالود و در راستای شرقی البرز، در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ″۳۷ ′۲۳ °۵۹ تا ″۵۶ ′۲۴ °۵۹ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۵۹ ′۲۱ °۳۶ تا ″۲۳ ′۲۲ °۳۶ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). رشته‌کوه بینالود بخشی از کمربند کوهزایی البرز در نظر گرفته می‌شود که در مورد سیر زمین ساختی آن، تصور بر این است که این رشته‌کوه در نتیجه‌ی فرورانش به سمت شمال پالئوتتیس و برخورد بعدی خرد قاره‌ی ایران مرکزی با ورقه‌ی توران به‌وجود آمده است. مجموعه دگرگونی – افیولیتی مشهد به‌صورت نواری از سنگ‌های دگرگون در دامنه‌ی شمالی این رشته کوه رخنمون یافته است. سنگ‌ها در این مجموعه بنابر نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ مشهد [۱۸]، تا رخساره‌ی شیست سبز دگرگون شده و مورد نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی قرار گرفته‌اند.

در جنوب و جنوبغربی مشهد تا شمال دشت تربت جام، برونزدهای ناپیوسته‌ای از توده‌های گرانیتوئیدی دیده می‌شوند. یقیناً این توده‌های گرانیتوئیدی که در یک راستای تقریبی شمال‌غربی – جنوب‌شرقی آرایش یافته‌اند، بخش‌های مرتفع یک باتولیت بسیار بزرگ هستند که بخش‌هایی از آن هنوز رخنمون نیافته‌اند [۱۹]. توده‌ی گرانیتوئیدی دهنو یکی از قدیمی‌ترین توده‌های نفوذی در شمال‌غرب مشهد است که به درون سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای مشتمل بر فیلیت‌ها، اسلیت‌ها و میکاشیست‌ها نفوذ کرده‌اند. [۲۰] با تعیین سن مطلق به روش U-Pb، سن ۴±۲۱۵ میلیون سال (معادل تریاس پسین-نورین) را برای توده‌ی نفوذی دهنو ارائه کرده است. نفوذ این توده در سنگ‌های ساد شده منجر به تشکیل یک هاله‌ی دگرگونی مجاورتی با گستردگی حدود ۳۰۰ متر در اطراف توده‌ی نفوذی شده است. گارنت‌های درشت دانه، کانی فراوان در این هاله‌ی دگرگونی مجاورتی هستند. این توده‌ی گرانیتوئیدی در حاشیه‌ی خود با هورنفلس‌ها، حاوی درشت بلورهایی از گارنت است. بررسی‌های صحرایی انجام شده در گستره‌ای به‌مساحت ۶ کیلومتر نشان داد که به سمت مرکز توده‌ی نفوذی اثری از این بلورهای گارنت مشاهده نمی‌شود (شکل۲).



شکل ۱ گستره‌ی ساختاری اصلی در شمال‌شرقی ایران و موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی.



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی.

روش پژوهش

در راستای دستیابی به هدف‌های مورد نظر، علاوه بر بررسی‌های دقیق صحرایی و میکروسکوپی، تعدادی از نمونه‌های گرانیتوئیدی گارنت‌دار و بدون گارنت که کمترین میزان دگرسانی را نشان می‌دادند، برای آنالیز شیمیایی به روش XRF انتخاب شدند. آنالیز در آزمایشگاه کانساران بینالود مشهد انجام شد. همچنین برای پی بردن به نوع و ترکیب گارنت، گارنت‌های موجود در توده‌ی نفوذی و هورنفلس‌های منطقه‌ی مورد بررسی ریزپردازشی با Horiba XGT-7200 شرکت کانساران بینالود تهران قرار گرفتند. نتایج آنالیز به ترتیب در جدول‌های (۱-۳) ارائه شده‌اند.

جدول۱ آنالیزهای شیمیایی XRF از اکسیدهای اصلی توده گرانیتوئیدی منطقه برحسب درصد وزنی (%Wt).

شماره نمونه	G90	G194	G196	G88	G170
SiO_2	۵۶٫۴۸	۵۶٫۷۶	۵۹٫۵۸	۵۷٫۱۵	۶۱٫۵۸
TiO_2	۰٫۹۶	۰٫۸۹	۰٫۷۶	۰٫۸۸	۰٫۷۰
Al_2O_3	۱۶٫۵۸	۱۶٫۴۴	۱۶٫۴۲	۱۷٫۳۹	۱۵٫۵۷
Fe_2O_3	۸٫۳۱	۸٫۲۰	۷٫۳۳	۷٫۸۲	۶٫۶۶
MnO	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۱۴	۰٫۱۱	۰٫۱۴
MgO	۳٫۲۰	۳٫۷۸	۳٫۱۲	۳٫۰۱	۲٫۸۱
CaO	۷٫۳۹	۵٫۵۱	۵٫۵۸	۶٫۷۴	۵٫۱۷
Na_2O	۲٫۳۶	۲٫۴۷	۲٫۳۵	۲٫۴۱	۲٫۲۹
K_2O	۲٫۴۹	۳٫۴۴	۲٫۸۶	۲٫۴۷	۲٫۸۸
P_2O_5	۰٫۳۷	۰٫۳۱	۰٫۲۴	۰٫۴۷	۰٫۲۷
LOI	۱٫۴۹	۱٫۸۲	۱٫۴۱	۱٫۳۰	۱٫۷۳
Total	۹۹٫۷۸	۹۹٫۷۸	۹۹٫۷۹	۹۹٫۷۵	۹۹٫۱۷

ادامه جدول ۱ آنالیزهای شیمیایی XRF از عناصر فرعی توده گرانیتوئیدی منطقه برحسب (ppm).

شماره نمونه	G90	G194	G196	G88	G170
Ba	۳۹۹	۴۸۳	۴۴۷	۴۴۵	۴۱۷
Co	۲۵	۲۷	۲۴	۲۹	۲۲
Cr	۳۰	۳۸	۶۵	۲۶	۲۰
Nb	۱۹	۲۰	۲۵	۲۲	۱۷
Th	۳۸	۲۵	۳۸	۲۱	۱۲
Ce	۹۷	۲۸	۶۱	۸۰	۶۸
Rb	۹۶	۱۱۳	۱۱۵	۸۳	۱۱۸
Sr	۶۷۱	۶۴۹	۵۶۲	۷۶۱	۵۹۴
V	۱۵۰	۱۵۱	۱۲۶	۱۳۷	۱۱۳
Y	۱۶	۲۰	۱۸	۱۵	۱۸
Zr	۲۳۰	۲۱۷	۲۲۲	۲۶۸	۲۴۲
Mo	۱۵	۲۳	۱۶	۲۴	۲۲

جدول ۲ ترکیب عناصر اصلی و اعضای نهایی از گارنت‌های موجود در گرانیتوئیدها.

شماره نمونه	Grt90 Intermadiate Rim Core			Grt194 Rim Intermadiate Core			Grt214 Rim Core Intermadiate		
SiO_2	۴۲٫۶۱	۴۳٫۱۶	۴۶٫۵۸	۴۳٫۰۹	۴۳٫۹۱	۴۳٫۱۷	۴۱٫۱۳	۴۱٫۵۸	۴۱٫۶۱
TiO_2	۰٫۲۸	۰۰٫۰	۰۰٫۰	۰٫۱۹	۰٫۲۸	۰٫۲۷	۰٫۴۱	۰٫۴۱	۰٫۳۴
Al_2O_3	۱۸٫۹۹	۱۹٫۷۴	۲۲٫۹۰	۱۹٫۳۲	۱۸٫۷۷	۱۹٫۴۲	۱۹٫۱۱	۱۷٫۸۸	۱۸٫۱۹
FeO	۲۵٫۳۷	۲۴٫۶۹	۱۶٫۹۹	۲۴٫۴۲	۲۴٫۴۰	۲۵٫۰۸	۲۷٫۷۸	۲۸٫۳۰	۲۸٫۱۳
MnO	۲٫۵۹	۲٫۳۹	۱٫۸۰	۲٫۴۱	۲٫۳۵	۱٫۹۳	۲٫۳۷	۲٫۱۱	۲٫۷۳
MgO	۴٫۸۶	۴٫۲۰	۲٫۱۸	۴٫۱۷	۳٫۷۶	۴٫۷۸	۲٫۷۲	۲٫۷۳	۲٫۴۶
CaO	۵٫۲۲	۵٫۴۴	۷٫۴۴	۵٫۶۱	۵٫۳۸	۵٫۲۱	۶٫۳۷	۶٫۵۱	۶٫۴۷
Total	۹۹٫۹۲	۹۹٫۶۲	۹۷٫۸۹	۹۹٫۲۱	۹۸٫۸۵	۹۹٫۸۶	۹۹٫۸۹	۹۹٫۵۲	۹۹٫۹۳
Cations based on 12 Oxygens									
Si	۳٫۳۶۰	۳٫۴۱۲	۳٫۷۰۷	۳٫۴۲۳	۳٫۵۱۳	۳٫۴۰۰	۳٫۲۸۸	۳٫۳۴۴	۳٫۳۳۷
Ti	۰٫۰۱۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۷	۰٫۰۱۶	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۱
Al	۱٫۷۶۵	۱٫۸۳۹	۲٫۱۴۸	۱٫۸۰۹	۱٫۱۷۷	۱٫۸۰۳	۱٫۸۰۰	۱٫۶۹۵	۱٫۷۲۰
Fe	۱٫۶۷۳	۱٫۶۳۲	۱٫۱۳۱	۱٫۶۲۳	۱٫۶۳۲	۱٫۶۵۲	۱٫۸۵۷	۱٫۹۰۴	۱٫۸۸۷
Mn	۰٫۱۷۳	۰٫۱۶۰	۰٫۱۲۱	۰٫۱۶۲	۰٫۱۵۹	۰٫۱۲۹	۰٫۱۶۰	۰٫۱۴۴	۰٫۱۸۵
Mg	۰٫۵۷۱	۰٫۴۹۵	۰٫۲۵۹	۰٫۴۹۴	۰٫۴۴۸	۰٫۵۶۱	۰٫۳۲۴	۰٫۳۲۷	۰٫۲۹۴
Ca	۰٫۴۴۱	۰٫۴۶۱	۰٫۶۳۴	۰٫۴۷۸	۰٫۴۶۱	۰٫۴۴۰	۰٫۵۶۴	۰٫۵۶۱	۰٫۵۵۶
End – member compositions									
Alm	۵۸٫۵۳	۵۹٫۴۰	۵۲٫۷۱	۵۸٫۸۷	۶۰٫۴۳	۵۹٫۳۹	۶۴٫۳۲	۶۴٫۸۴	۶۴٫۵۶
Prp	۱۹٫۹۹	۱۸٫۰۱	۱۲٫۰۶	۱۷٫۹۲	۱۶٫۶۰	۲۰٫۱۸	۱۱٫۲۳	۱۱٫۱۵	۱۰٫۰۶
Grs	۱۵٫۲۹	۱۶٫۷۷	۲۹٫۵۷	۱۷٫۲۲	۱۶٫۹۱	۱۵٫۶۷	۱۸٫۶۴	۱۸٫۸۳	۱۸٫۸۰
Spess	۶٫۰۵	۵٫۸۲	۵٫۶۶	۵٫۸۸	۵٫۸۹	۴٫۶۳	۵٫۵۶	۴٫۹۰	۶٫۳۵

جدول ۳ ترکیب عناصر اصلی و اعضای نهایی گارنت‌های موجود در هورنفلس‌ها.

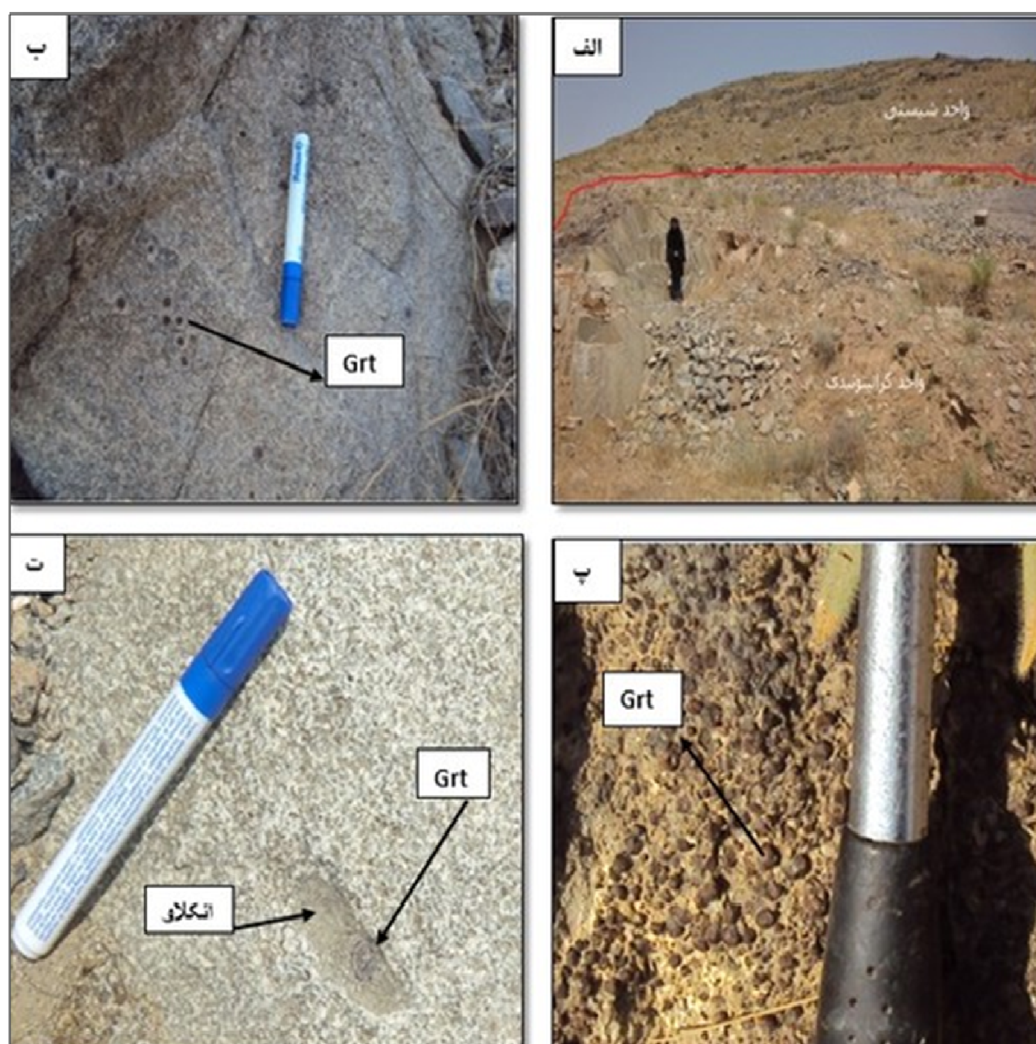
شماره نمونه	Grt210 Rim	Grt210 Intermadiate	Grt210 Core	Grt220 Rim	Grt220 Intermediate	Grt220 Core
SiO_2	۴۲٫۲۷	۴۱٫۴۲	۴۲٫۱۳	۴۰٫۰۷	۴۰٫۰۳	۳۹٫۷۲
TiO_2	۰٫۲۳	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۱
Al_2O_3	۱۹٫۳۶	۱۹٫۸۱	۲۰٫۱۰	۱۹٫۷۸	۱۹٫۴۱	۱۹٫۳۰
FeO	۳۱٫۶۱	۳۱٫۹۷	۳۱٫۹۰	۳۲٫۸۸	۳۳٫۹۸	۳۴٫۰۶
MnO	۴٫۰۲	۳٫۹۵	۳٫۵۸	۲٫۲۸	۲٫۳۷	۲٫۲۳
MgO	۱٫۸۹	۱٫۸۹	۱٫۷۴	۲٫۶۶	۲٫۳۹	۲٫۶۵
CaO	۰٫۴۹	۰٫۴۹	۰٫۴۷	۱٫۱۴	۱٫۳۴	۱٫۰۹
Total	۹۹٫۸۷	۹۹٫۵۹	۹۹٫۹۳	۹۸٫۸۳	۹۹٫۵۷	۹۹٫۰۶
Cations based on 12 Oxygens						
Si	۳٫۴۳۵	۳٫۳۷۳	۳٫۴۱۷	۳٫۲۷۱	۳٫۲۵۶	۳٫۲۴۴
Ti	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۱
Al	۱٫۸۵۴	۱٫۹۰۱	۱٫۹۲۱	۱٫۹۰۳	۱٫۸۶۰	۱٫۸۵۸
Fe	۲٫۱۴۸	۲٫۱۷۷	۲٫۱۶۴	۲٫۲۴۴	۲٫۳۱۱	۲٫۳۲۶
Mn	۰٫۲۷۷	۰٫۲۷۲	۰٫۲۶۴	۰٫۱۵۸	۰٫۱۶۳	۰٫۱۵۴
Mg	۰٫۲۲۹	۰٫۲۲۹	۰٫۲۱۰	۰٫۳۲۴	۰٫۲۹۰	۰٫۳۲۳
Ca	۰٫۰۴۳	۰٫۰۴۳	۰٫۰۴۱	۰٫۱۰۰	۰٫۱۱۷	۰٫۰۹۵
End – member compositions						
Alm	۷۹٫۶۷	۷۹٫۹۹	۸۱٫۳۲	۷۹٫۴۴	۸۰٫۲۲	۸۰٫۲۶
Prp	۸٫۴۹	۸٫۴۳	۷٫۹۱	۱۱٫۴۶	۱۰٫۰۶	۱۱٫۱۳
Grs	۱٫۵۷	۱٫۵۷	۱٫۵۳	۳٫۵۳	۴٫۰۵	۳٫۲۹
Spess	۱۰٫۲۶	۱۰٫۰۱	۹٫۲۴	۵٫۵۸	۵٫۶۷	۵٫۳۲

سنگ‌نگاری سنگ‌های مورد بررسی

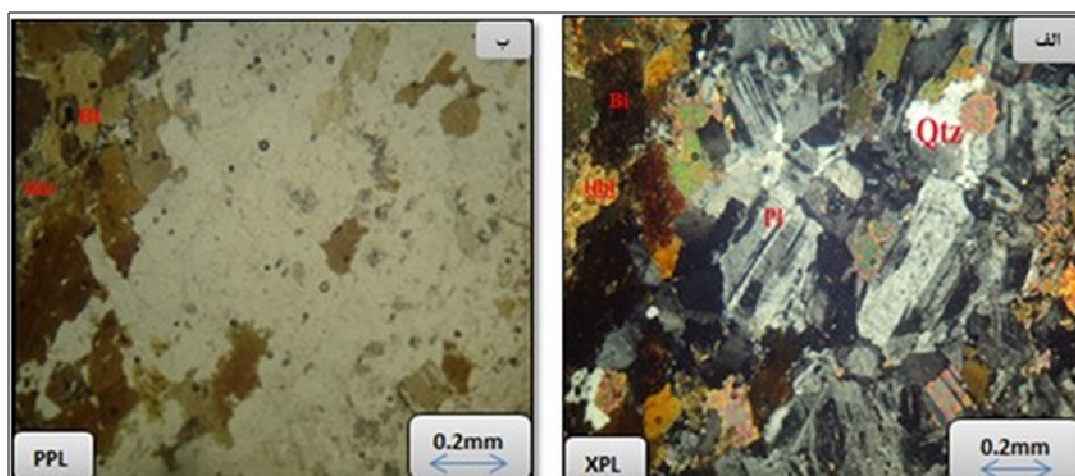
براساس بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و نیز بنابر رده‌بندی‌های کانی‌شناسی، توده‌ی نفوذی دهنو از دو واحد تونالیتی و گرانودیوریتی تشکیل شده است که مرز مشخصی بین این واحدها وجود ندارد و در کل آن‌ها را سنگ‌های گرانیتوئیدی دهنو نام‌گذاری کرده‌اند. این توده‌ی گرانیتوئیدی با رنگ خاکستری روشن و بافت دانه‌ای، در سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای مشتمل بر فیلیت‌ها، اسلیت‌ها و میکاشیست‌ها و نیز در سنگ‌های کربناتی جایگیری کرده است [۲۱] (تصویر ۱). وجود زبانه‌هایی از توده‌ی نفوذی در سنگ میزبان و نیز مشاهده‌ی تبدیل شدن بافت‌های شیستی به بافت‌های هورنفلسی در مقاطع میکروسکوپی، هورنفلس‌ها معرف مرز دگرگونی مجاورتی و گسله نبودن آن هستند.

بررسی‌های ریزپردازشی سنگ‌های خارانما نشان دادند که این سنگ‌ها دارای بافت هیپ‌ایدیومورف گرانولار و پوئی بوده و ترکیبی از هورنبلند بیوتیت گرانودیوریت تا تونالیت تشکیل شده‌اند. کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوز، بیوتیت، هورنبلند کانی‌های اصلی و زیرکن، آپاتیت، اسفن و اکسیدهای آهن کانی‌های فرعی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند (تصویر ۲). در این سنگ‌ها برونبوم‌های ریز دانه‌ای حدواسط تا مافیک و بلورهای گارنت به چشم می‌خورند که خاستگاه بلورهای گارنت در این مقاله مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند.

نزدیک به توده‌ی نفوذی، هورنفلس‌های سیاه رنگی وجود دارند که در بررسی‌های میکروسکوپی معلوم شد که دارای بافتی از سنگ‌های دگرگون با پورفیروبلاستی بوده و بقایایی از شیستوزیته موجود در میکاشیست‌های میزبان توده‌ی نفوذی را نشان می‌دهند. کانی‌های موجود در این دسته از سنگ‌های مورد بررسی عبارتند از کوارتز، بیوتیت، مسکویت، فیبرولیت، آندالوزیت، کلریت، زیرکن و اکسیدهای آهن به همراه پورفیروبلاست‌های نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار گارنت است.



تصویر ۱ الف) مرز بین واحد گرانیتوئیدی و واحد شیستی منطقه، ب) گرانیتوئید حاوی درشت بلورهای گارنت، پ) چگونگی حضور گارنت درهورنفلس‌های مجاور گرانیت، ت) برونبوم ریز دانه حدواسط تا مافیک حاوی گارنت.



تصویر ۲ تصویر مقطع میکروسکوپی گرانیتوئیدهای منطقه؛ الف) کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند در نور XPL ب) بیوتیت و هورنبلند در نور.

زمین‌شیمی توده‌ی نفوذی

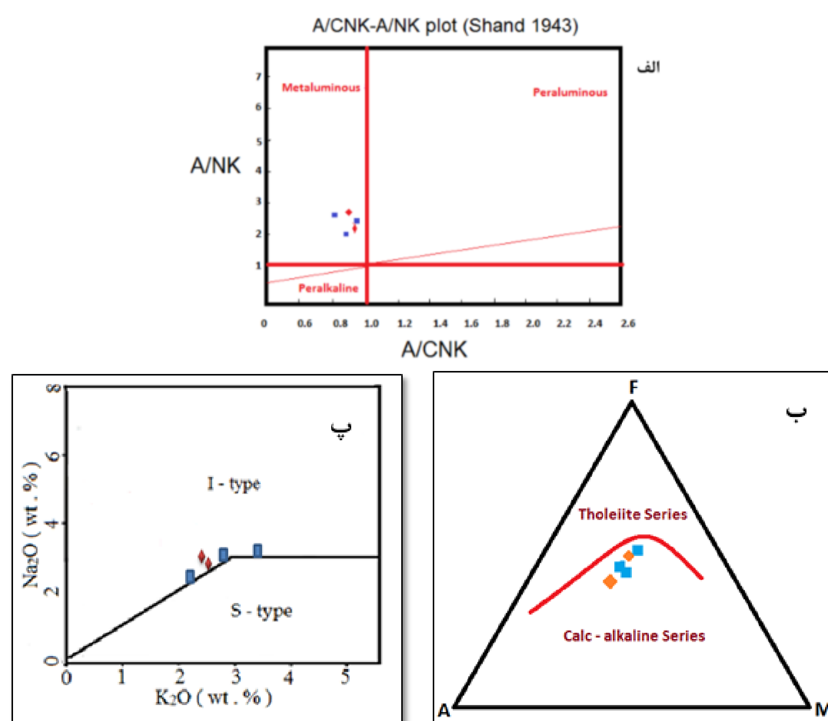
توده‌ی گرانیتوئیدی دهنو تاکنون توسط بسیاری از پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است. [۲۲] بر اساس آنالیز عناصر اصلی و فرعی معلوم شد که گرانودیوریت‌ها و تونالیت‌ها شبه رخشان بوده و در گستره‌ی گرانیت‌های نوع I قرار می‌گیرند و ماگما از نوع کلسیک و شبه قلیایی است. بررسی‌های ژئوشیمیایی [۱۷] و داده‌های ایزوتوپی [۲۳] تأیید می‌کنند که توده‌ی نفوذی دهنو از نوع شبه رخشان با سرشتی آهکی- قلیایی نوع I است.

[۲۴] گارنت‌های دارای میزان CaO>4%Wt و میزان MnO<4%Wt را گارنت‌های اولیه‌ای در نظرگرفته‌اند که از یک ماگمای شبه رخشان و نوع متبلور شده‌اند. بنابر عقیده‌ی آن‌ها گارنت‌های فقیر از کلسیم (CaO<4%Wt) از یک ماگمای پرآلومینوس نوع متبلور می‌شوند. بر همین اساس در این پژوهش، تعدادی از نمونه‌های گارنت‌دار و بدون گارنت به صورت XRF آنالیز شدند و نوع ماگما مشخص شد. نتایج این آنالیز تأکیدی بر نتایج قبلی بود و نشان داد که توده‌ی نفوذی دهنو از نوع شبه رخشان و آهکی- قلیایی است. همچنین نوع گرانیتوئیدهای منطقه از نوع I تشخیص داده شدند (شکل۳).

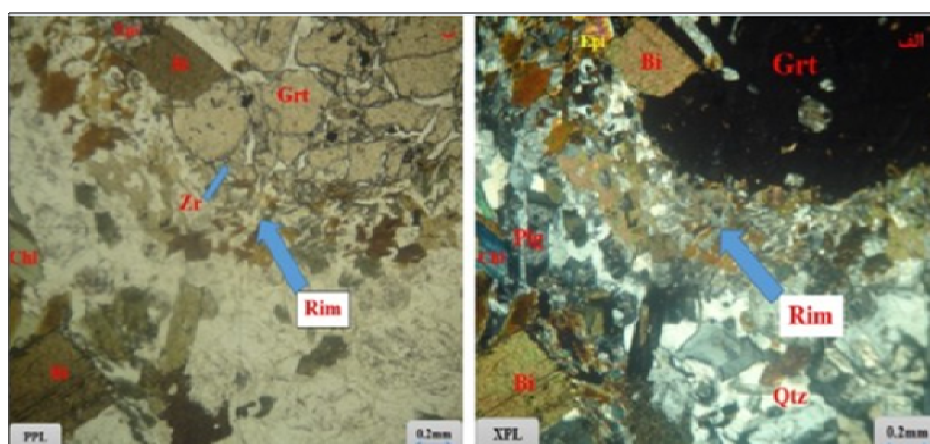
بررسی گارنت موجود در توده‌ی نفوذی و هاله‌ی دگرگونی مجاورتی آن در گرانیتوئیدهای منطقه

بلورهای گارنت موجود در گرانیتوئیدها در اندازه‌های ۱-۲ سانتیمتر، به رنگ قهوه‌ای و کاملاً شکل‌دارند. این بلورهای گارنت به مراتب درشت دانه‌تر از کانی‌های تشکیل دهنده‌ی گرانیت دربرگیرنده‌اشان بوده و در نمونه دستی منطقه‌بندی نشان می‌دهند. در سنگ‌های گرانیتوئیدی منطقه، هیچ‌گونه زینولیت شیستی گارنت‌داری به چشم نمی‌خورد، ولی بلورهای گارنت درون برخی از برونبوم‌های ریز دانه ای حدواسط تا مافیک منطقه نیز مشاهده شده‌اند.

بررسی‌های میکروسکوپی سنگ‌های گرانیتوئیدی حاوی گارنت نشان داد که بلورهای گارنت شکل‌دار به قطر ۱۰-۲۰ میلیمتر هستند. در پیرامون گارنت‌ها معمولاً حاشیه‌ای ریز دانه دیده می‌شود که غالباً از کانی‌های پلاژیوکلاز، بیوتیت، هورنبلند و به مقدار کمتر کوارتز تشکیل شده است. بر اساس بررسیهای سنگ نگاری، ترکیب حاشیه‌ی اطراف گارنت نسبت به ترکیب زمینه‌ی گرانیت مافیک‌تر است (تصویر۳). این حاشیه نشان می‌دهد که ماگما با بلورهای گارنت به عنوان یک بلور بیگانه رفتار کرده‌اند.

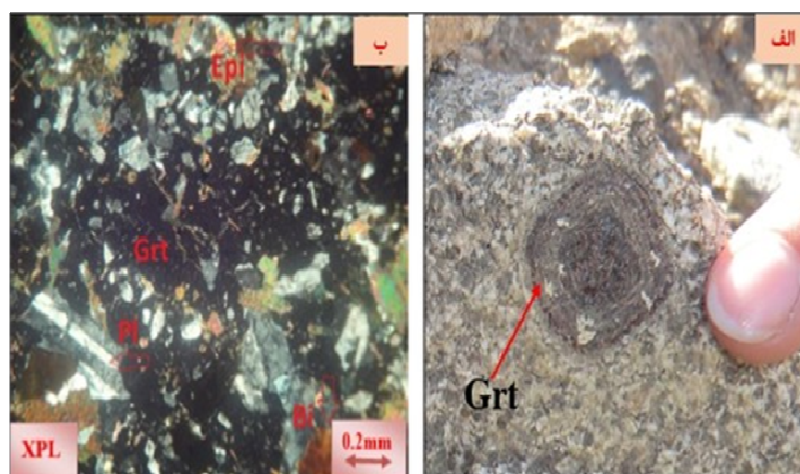


شکل۳ الف) منطقه‌بندی گرانیتوئیدهای منطقه [۲۵]، ب) نمودار تعیین سری ماگمایی بر اساس نمودار AFM [۲۶]، پ) تعیین نوع گرانیتوئیدهای منطقه [۲۷] ، (گرانیتوئیدهای گارنت‌دار: ■ ، گرانیتوئیدهای بدون گارنت: ◆

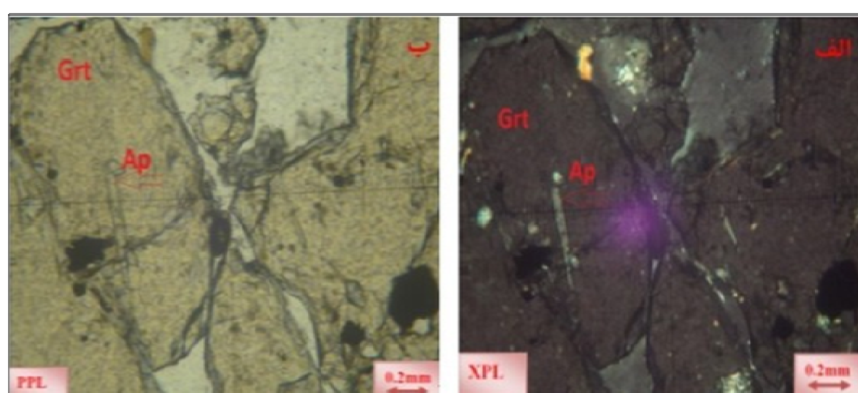


تصویر ۳ گارنت موجود در گرانیتوئیدها به همراه حاشیه‌ی ریز دانه متشکل از بیوتیت، هورنبلند اطراف آن، الف) در نور XPL، ب) در نور PPL.

میان بارهای موجود در این گارنت‌ها شامل بیوتیت، پلاژیوکلازهای ماکل‌دار، هورنبلند، آپاتیت، اپیدوت، زوئیزیت- کلینوزوئیزیت و به مقدار کمتر کوارتز و فلدسپار قلیایی بوده است که نشان‌دهنده‌ی فازهای آذرین هستند. (شکل ۴، ۵) این میانبارها حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از حجم کانی را به خود اختصاص داده و به صورت دایره‌های هم مرکز درون بلور قرار گرفته‌اند. چگونگی قرار گیری این میانبارها موجب یک نوع منطقه‌بندی در نمونه‌دستی شده است.



تصویر ۴ الف) منطقه بندی گارنت در نمونه دستی، ب) میانبارهای پلاژیوکلاز، بیوتیت و اپیدوت در گارنت XPL موجود در گرانیتوئید در نور .



تصویر ۵ آپاتیت موجود در گارنت الف) در نورXPL ، ب) در نورPPL

گارنت موجود در هورنفلس‌های منطقه

گارنت‌های درشت دانه با قطر حدود ۰٫۵ سانتیمتر، کانی فراوان در هاله دگرگونی مجاورتی این منطقه هستند. گارنت موجود در هورنفلس‌ها نسبت به گارنت موجود در تونالیت‌ها ریزتر و با فراوانی بیشترند. در مقاطع میکروسکوپی این گارنت‌ها به صورت شکل‌دار و با اندازه‌های ۳ -۵ میلیمتر دیده شدند. بیشتر این گارنت‌ها بدون میانبار و سالم هستند. برخی از این بلورهای گارنت دارای میانبارهایی از کوارتزند که بیشتر در میان بلور تمرکز داشته و ۱-۵ درصد از حجم بلور را به خود اختصاص می‌دهند. این گارنت‌ها به وسیله بیوتیت و فیبرولیت احاطه شده‌اند (تصویر۶).

شیمی گارنت

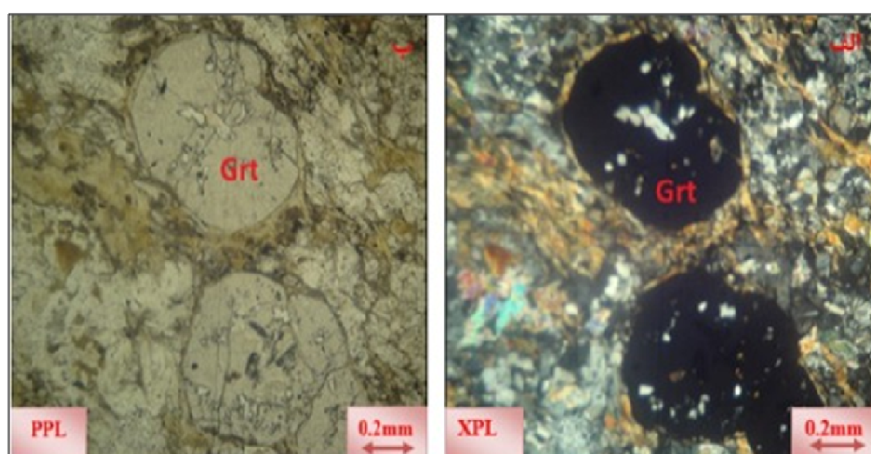
شیمی گارنت موجود در گرانیت‌ها نشان‌دهنده‌ی ترکیب میانگین Alm60.34 Grs18.63 Prp15.24 Spess5.63 بوده و میزان اعضای نهایی آن به صورت Alm>Grs>Prp>Sps است. این در حالی است که گارنت موجود در هورنفلس‌های منطقه با ترکیب میانگین Alm80.15 Prp9.58 Sps7.68 Grs2.59 دیده شد و میزان اعضای نهایی آن به صورت Alm>Prp>Sps>Grs است. ترکیب غالب در هر دوی این گارنت‌ها، آلماندین است که نشان‌دهنده‌ی سرشت آهن‌دار بودن سنگ میزبان منطقه است. روند تغییرات اکسید عناصر اصلی و اعضای نهایی گارنت‌های موجود در گرانیتوئیدهای منطقه، با توجه به شکل ۴، با یکدیگر متفاوت بوده و نمی‌توان الگوی معینی برای آن‌ها تعریف کرد. چنانکه این نمودارها نشان می‌دهند در گارنت موجود در گرانیتوئیدها، میزان CaO >4%Wt و میزان MnO<4%Wt است. بالا بودن میزان کلسیم موجود در گارنت‌ها را می‌توان نتیجه‌ی تأثیر ماگمای کلسیک و مبادله‌های شیمیایی بین آنها در نظر گرفت. در نمودارهای تغییرات اکسید عناصر اصلی و اعضای نهایی گارنت موجود در هورنفلس‌های منطقه، منطقه‌بندی شیمیایی مشاهده نمی‌شود که این می‌تواند ناشی از همگن‌سازی شیمیایی گارنت به دلیل بالا بودن دما باشد[۲۸] (شکل۵).

بحث و بررسی

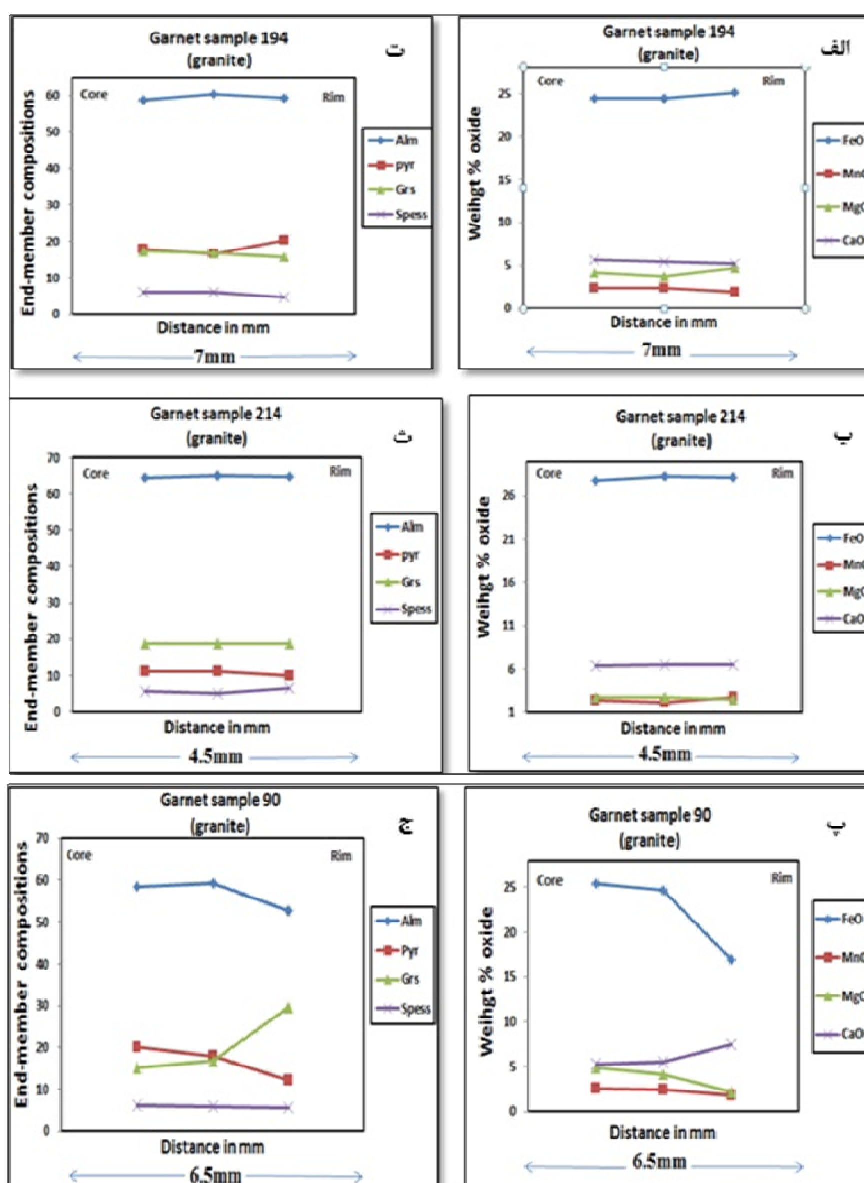
شاید بتوان فرض کرد که گارنت‌های موجود در توده‌ی نفوذی از نوع زینوکریست‌های دگرگون هستند. اساسی‌ترین تفاوت میان گارنت‌های موجود در گرانیت‌ها و هورنفلس‌ها را می‌توان به نوع و میزان میانبارهای آن‌ها نسبت داد، به طوری که میانبارها در گارنت موجود در گرانیت‌ها شامل بیوتیت، پلاژیوکلاز، هورنبلند، اپیدوت و زوئیزیت-کلینوزوئیزیت‌های اولیه هستند که به صورت دایره‌ها هم مرکز درون بلور قرار گرفته‌اند، ولی میانبارها در گارنت موجود در هورنفلس‌ها از نوع کوارتز بوده و محدود به مرکز بلورند. علاوه بر این می‌توان به تفاوت شکل، اندازه و شیمی گارنت‌های موجود در گرانیت‌ها و هورنفلس‌ها نیز اشاره کرد. چنانکه گفته شد، ماگمای تشکیل دهنده‌ی سنگ‌های نفوذی منطقه از نوع شبه رخشان است و همانطور که نشان داده شد ماگمای شبه رخشان از آلومینیوم کافی برای تشکیل و پایداری گارنت برخوردار نیست. حاشیه واکنشی سرشار از بیوتیت و هورنبلند در اطراف این گارنت‌ها نشان می‌دهد که آن‌ها در تعادل با ماگمای میزبانشان نبوده و به وسیله‌ی فازهای فرومنیزین ماگمای گرانیتی جایگزین شده‌اند. بنابراین گارنت‌ها یا در نتیجه‌ی آلایش ماگما با سنگ‌های دیواره حاصل شده‌اند یا یک کانی مقاوم بوده که به درون ماگما راه یافته است. وجود میانبارهای ریز دانه‌ای حدواسط تا مافیک در سنگ‌های نفوذی منطقه و نیز نمودارهای Rb نسبت به Zr/Rb و نمودار Rb نسبت به Ba/Rb بیانگر پدیده‌ی هضم و آلایش توده‌ی گرانیتوئیدی منطقه با پوسته بالایی هستند (شکل۶). ارتباط مکانی توده‌ی نفوذی با سنگ‌های دگرگون، نیز به هضم سنگ‌های دیواره به وسیله‌ی ماگمای گرانیتی اشاره می‌کند.

[۳۰] گارنت‌های موجود در باتولیت South Mountain Batholith جنوب Nova Scotia کانادا را به سه دسته تقسیم کرده و اصطلاح ارتوماگمایی را به بلورهایی نسبت داد که به طور مستقیم از ماگما متبلور شده‌اند و اصطلاح ارتوزینوکریست را برای بلورهای گارنتی به کار برد که از سنگ‌های میزبان جدا شده و به ماگمای گرانیتی پیوسته‌اند. همچنین برای بلورهایی که در آغاز در سنگ‌های میزبان وجود نداشته‌اند ولی فراورده‌های ذوب نامتجانس زینوکریست‌ها و زینولیت‌های مشتق شده از سنگ‌های دیواره هستند، اصطلاح پارازینوکریست (بلورهای پرتکتیک[1]) را به کار برد.

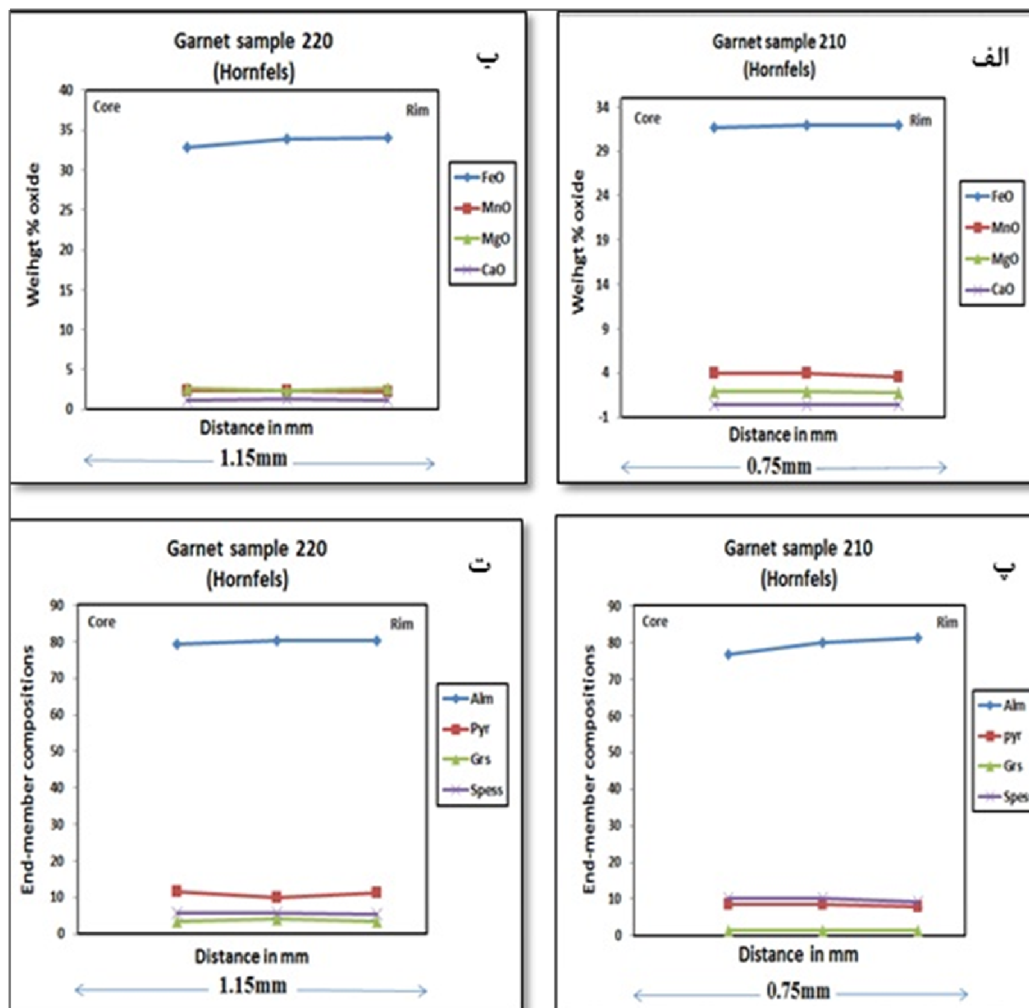
1- Peritectic



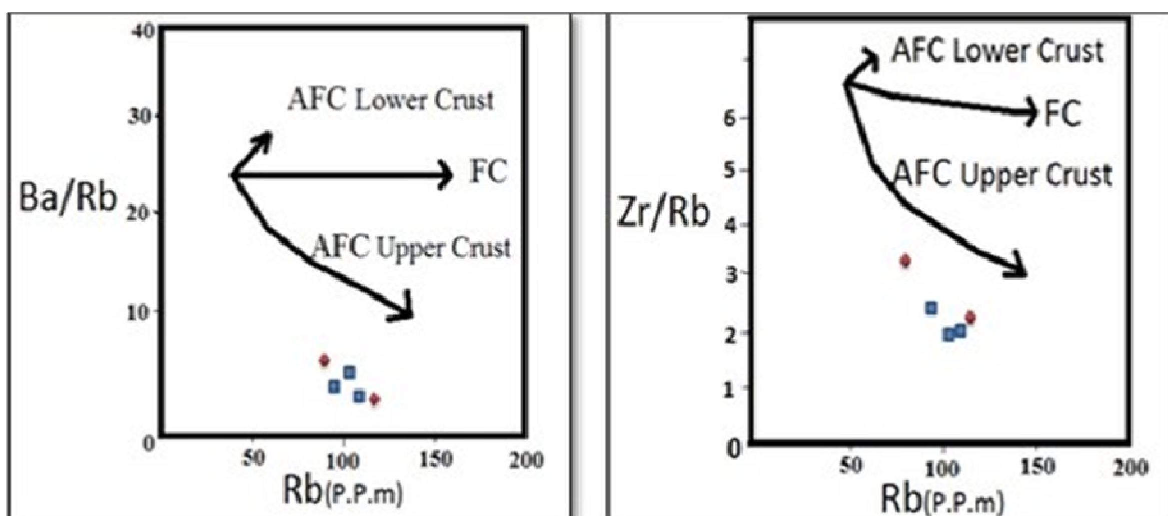
تصویر۶ گارنت موجود در هورنفلس‌ها به همراه میانبارهای کوارتز، الف) در نور XPL ، ب) در نور PPL.



شکل۴ الف - پ) نمودار تغییرات اکسید عناصر اصلی، ت - ج) نمودار تغییرات اعضای نهایی گارنت‌های موجود در گرانیتوئیدهای مختلف.



شکل۵ الف، ب) نمودار تغییرات اکسید عناصر اصلی، پ، ت) نمودار تغییرات اعضای نهایی گارنت‌های موجود در هورنفلس‌های مختلف.



شکل۶ تعیین نقش آلایش پوسته‌ای [۲۹]

گرانیتوئیدهای گارنت‌دار: گرانیتوئیدهای بدون گارنت:

بلورهای پرتکتیک موجود در سنگ‌های آذرین زمانی به وجود می‌آیند که کانی‌های باقی مانده سنگ مادر یا زینولیت‌ها و زینوکریست‌های سنگ‌های دیواره به درون ماگمای در حال صعود راه یافته و دستخوش پدیده هضم و ذوب نامتجانس شوند. این بلورها شواهدی از اختلاط ماگمایی یا آلایش با سنگ‌های دیواره را نشان می‌دهند.

بلورهای پرتکتیک می‌توانند در نتیجه‌ی تغییرات در ترکیب شیمیایی، فشار، دما و یا واکنش‌های اکسایش – کاهش بنابر واکنش نامتجانس زیر به وجود آیند[۳۱].

شاره± بلورهای پرتکتیک ± گدازه‌ی۲ ← مذاب۱ ± بلور اولیه(جامد)

بلورهای پرتکتیک بافت و ترکیب مشابه با بلورهای ماگمایی اولیه داشته، در نتیجه تشخیص آن‌ها مشکل است، بنابراین کمتر گزارش شده‌اند.

به نظر می‌رسد که گارنت‌های درشت دانه‌ی مورد بررسی شباهت بیشتری با بلورهای پرتکتیک داشته باشند.گارنت‌های پرتکتیک میان‌بارهای فراوان داشته و یک الگوی حلقوی را برای میانبارها نشان می‌دهند که بیانگر منطقه‌های رشد هستند (تصویر۴) [۳۲] .

فراوانی میانبارها و نیز چگونگی قرارگیری آن‌ها در گارنت-های منطقه‌ی مورد بررسی، نیز پرتکتیک بودن آن‌ها را تأیید می‌کنند. این چنین تصور می‌شود که آن‌ها محصول ذوب نامتجانس سنگ‌های دیواره باشند که در نتیجه‌ی گرمای حاصل از صعود ماگما، ذوب شده و بنابر واکنش زیر به وجود آمده‌اند:

مذاب + بلور پرتکتیک ← مذاب میزبان ±

زینوکریست‌ها و زینولیت‌های مشتق شده از سنگ دیواره‌ی این بلورهای گارنت که در آغاز در سنگ میزبان وجود نداشته‌اند و طی ذوب زینولیت‌های مشتق شده از سنگ میزبان در هنگام اتصال به ماگمای گرانیتی به وجود آمده‌اند، می‌توانند جزء گروه پارازینوکریست‌ها (بلورهای پرتکتیک) رده‌بندی شوند.

بنابر تقسیم‌بندی [۳۰] هیچ‌گونه ارتوزینوکریستی در گرانیت‌های منطقه دیده نمی‌شود. با توجه به این که ممکن است فاکتورهایی همچون هضم، آلایش ماگما با سنگ‌های دیواره و واکنش‌های تبادل یونی به‌طور کامل شناخته نشوند؛ بنابراین به نظر می‌رسد که نتوان گارنت‌هایی از نوع گارنت‌های موجود در شیست‌های گارنت‌دار را در منطقه دید.

وجود گارنت در برونبوم‌های ریز دانه حدواسط تا مافیک منطقه می‌تواند بیانگر این مسئله باشد که بلورهای گارنت ممکن است طی تپ‌های قبلی ماگما که اکنون قابل رؤیت نیستند، نیز به وجود آمده باشند. برخی از آن‌ها نیز ممکن است به دنبال واکنش با ماگما به صورت بخشی دوباره جذب شده باشند.

عدم وجود زینولیت‌های شیستی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی این باشد که ۱) این زینولیت‌ها به‌طور کامل هضم شده‌اند. ۲) زینولیت‌ها در بخش‌های عمیق توده‌های ماگمایی قبلی که اکنون قابل رؤیت نیستند، ته‌نشست پیدا شده‌اند.

برداشت

هورنبلند بیوتیت تونالیت تا گرانودیوریت مزوزوئیک رخنمون یافته در منطقه‌ی دهنو، دارای بافت دانه ای بوده و کانی‌های اصلی آن کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوز، بیوتیت و هورنبلند و کانی-های فرعی آن زیرکن، آپاتیت، اسفن به همراه گارنت‌های پرتکتیک است. نتایج آنالیز شیمیایی XRF نشان داد که ماگمای تشکیل‌دهنده‌ی توده‌ی نفوذی منطقه از نوع شبه رخشان و آهکی- قلیایی و نوع I است که دستخوش پدیده‌ی هضم و آلایش با پوسته‌ی بالایی شده است.

تفاوت در نوع میانبارها و چگونگی قرارگیری آنها در بلورهای گارنت موجود در گرانیتوئیدها و هورنفلس‌ها نشان-دهنده‌ی این است که بلورهای گارنت موجود در توده‌ی نفوذی را نمی‌توان بقایای هضم گارنت‌های موجود در سنگ‌های دگرگون منطقه در نظر گرفت. از طرفی ماگمای متاآلومینوس تشکیل‌دهنده‌ی توده‌ی نفوذی منطقه، آلومینیوم، برای تشکیل و پایداری گارنت کافی نیست و حاشیه‌ی سرشار از بیوتیت و هورنبلند در اطراف گارنت نیز مدارکی برای ناپایداری گارنت درون این ماگما هستند. بنابراین تصور می‌شود که این گارنت‌ها نتیجه‌ی آلایش ماگما با سنگ‌های دیواره هستند. بلورهای گارنت را می‌توان بلورهای پرتکتیکی در نظر گرفت که در طی ذوب نامتجانس زینوکریست‌ها و زینولیت‌های مشتق شده از سنگ‌های دیواره، حاصل شده‌اند که در واقع پارازینوکریست-هایی هستند که در آغاز در سنگ مادر وجود نداشته و

محصولات جامد حاصل از ذوب نامتجانس آلوده‌کننده‌های ریشه گرفته از سنگ میزبان هستند.

قدردانی

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره‌ی ۳/۲۳۸۵۴ مورخ ۱۳۹۱/۸/۱۶ انجام شد که بدینوسیله از حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه صمیمانه سپاسگزاریم. از راهنمایی و یاری پروفسور سوسکیا اردمان از مؤسسه‌ی (The National Center for Scientific CNRS Researches) پاریس فرانسه و نیز پروفسور مایک دوریس از دانشگاه بریگهام یانگ امریکا برای پاسخگویی به سوالاتمان سپاسگزاریم.

مراجع

[1] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., *"An Introduction to the Rock forming Minerals"*, Second Longman ed. Longman, London (1992) 696pp.

[2] Thöni M., Miller C., *"Ordovician meta-pegmatite garnet (N–W Ötztal basement, Tyrol, Eastern Alps): preservation of magmatic garnet chemistry and Sm–Nd age during mylonitization"*, Chemical Geology 209 (2004) 1–26.

[3] Miller C.F., Stoddard E.F., *"The role of manganese in the paragenesis of magmatic garnet: an example from the Old Woman-Piute Range, California"*, Journal of Geology 89 (1981) 233-246.

[4] Kebede T., Koeberl C., Koller F., *"Magmatic evolution of the Suquii-Wagaa garnet-bearing two-mica granite,Wallagga area, western Ethiopia"*, Journal of African Earth Sciences 32 (2001) 193-221.

[5] Chappell B.W., White A.J.R., *"Two contrasting granite types"*, Pacific Geology 8 (1974) 173-174.

[6] Clemens J.D., *"S-type granitic magmas petrogenetic issues, models and evidence"*, Earth-Science Reviews 61(2003) 1-18.

[7] Wu F.Y., Sun D.Y., Jahn B.M., Wilde S., *"A Jurassic garnet-bearing granitic pluton from NE China showing tetrad REE patterns"*, Journal of Asian Earth Sciences 23 (2004) 731-744.

[8] Yu J.H., Zhao L., Zhou X., *"Mineralogical characteristics and origin of garnet-bearing I-type granitoids in southeastern Fujian province"*, Geological Journal of China Universities 10 (2004) 364-377.

[9] Zhang J., Changqian Ma,C., She Z., *"An Early Cretaceous garnet-bearing metaluminous A-type granite intrusion in the East Qinling Orogen, central China: Petrological, mineralogical and geochemical constraints"*, Geoscience Frontiers (2012) 1-12.

[10] Erdmann S., Clarke D. B., MacDonald M. A. *"Origin of chemically zoned and unzoned cordierites from the SouthMountain and Musquodoboit batholiths"*, Transactions of the RoyalSociety of Edinburgh, Earth Sciences 95 (2005) 99-110.

[11] Fourcade S., Capdevila R., Ouabadi A., Martineau F., *"The origin and geodynamicsignificance of the Alpine cordierite-bearing granitoids of northern Algeria"*, A combined petrological,mineralogical, geochemical and isotopic (O, H, Sr, Nd) study.Lithos 57 (2001) 187-216.

[12] Gottesmann B., Forster H.-J., "*Sekaninaite from the SatzungGranite (Erzgebirge, Germany); magmatic or xenolithic?"*, EuropeanJournal of Mineralogy 16 (2004) 483-491.

[13] Dahlquist J. A., Rapela C.W., Baldo E. G., *"Petrogenesis ofcordierite-bearing S-type granitoids in Sierra de Chepes,Famatinian orogen, Argentina"*, Journal of South American EarthSciences 20 (2005) 231-251.

[14] Beard J. S., Ragland P. C., Crawford M. L., *"Reactive bulk assimilation: A model for crust-mantle mixing in silicic magmas"*, Geology 33 (2005) 681-684.

[15] Stevens G., Villaros A., Moyen J.-F., *"Selective peritecticgarnet entrainment as the origin of geochemical diversity in S-type granites"*, Geology 35 (2007) 9-12.

[16] Plimer I. R., Moazez-Lesco Z., *"Garnet Xenoerysts in the Mashhad Granite, NE Iran"*, Geologische Rundschau, Bd. 89 (1980) 801—810.

[17] Samadi R., Mirnejad H., Kawabata H., Harris Ch., Valizadeh M.V., Gazel E., *"Magmatic garnet in the Triassic(215Ma) Dehnow pluton of NE Iran and its petrogenetic significance"*, International Geology Review, (2014).

[۱۸] طاهری ج.، قائمی ف.، نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ مشهد، سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۹۹۴.

[۱۹] صمدی ر.، میرنژاد ح.، شیردشت‌زاده ن.، کاواباتا ه.، *"کاربرد شیمی گارنت در بررسی‌های ترمودینامیکی تونالیت دهنو (شمال غرب مشهد)"*، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲ (۱۳۹۱) ص ۲۵۳ - ۲۶۴.

[20] Karimpour M.H., Stern C.R., Farmer G.L., *"Zircon u-pb geochronology, Sr-Nd isotope analyses and petrogenetic study of the Dehnow diorite and Kuhsangi granodiorite (paleo-Tethys),NE Iran",* Journal of Asian Earth Sciences 37 (2010) 384-393.

[21] Razavi M.H., Masoudi F., Alaminia Z., *"Garnet-Biotite Chemistry for Thermometry of Staurolite Schist from South of Mashhad, NE Iran",* Journal of Sciences, Islamic Republic ofIran 19(3) (2008) 237-245.

[22] Karimpour M.H., Farmer L., Ashori C., Saadat S., *"Major, Trace and REE geochemistryof Paleo-Tethys Collision-Related Granitoids from Mashhad, Iran",* Journal of Science IslamicRepublic of Iran, 17 (2006) 127-145.

[23] Mirnejad H., Lalonde A.E., Obeid M., Hassanzadeh J., *"Geochemistry and petrogenesis of Mashhad granitoids: An insight into the geodynamic history of the Paleo-Tethys in Northeast of Iran"*, Lithos v 170–171 (2013) 105–116.

[24] Harangi S.Z., Downes H., K□sa L., Szab□ C.S., Thirlwall M.F., Mason P.R.D., *"Almandine garnet in calc-alkaline volcanic rocks of the Northern Pannonian Basin (Eastern- Central Europe), geochemistry, petrogenesis and geodynamic implications",* Journal of Petrology, v 42 (2001) 1813–1843.

[25] Shand S.J., *"Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification, and their relations to ore-deposits"*, Wiley, New York (1943) 444 pp.

[26] Irvine T. N., Barager W. R. A., *"A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks",* Canadian Journal of Earth Science, 8(1971) 235-458.

[27] Chappell B. W., *"Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites"*, Lithos 46 (1999) 535–551.

[28] Yardley B. W. D., *"An empirical studyof diffusion in garnet",* American Mineralogist 62 (1977) 793-800.

[29] Askren D.R., Roden M.F and Whitney J.A., *"Petrogenesis of Tertiary Andesite Lava Flows Inter-layered with Large-Volume Felsic AshFlow Tuffs of the Western USA",* Journal of Petrology, 38(1999) 1021–1046.

[30] Erdmann S., *"Country rock contamination and assimilation in the South Mountain Batholith",* Unpublished Ph.D thesis, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, (2006) 212 pp.

[31] Erdmann S., Scaillet B., Kellett D.A., *"Textures of peritectic crystals as guides to reactive minerals in magmatic systems: New insights from melting experiments",* Journal of Petrology 11 (2013) 2231- 2258.

[32] Dorias M.J., Tubrett M., *"Detecting pritectic garnet in the peraluminous cardigan pluton,New Hampshire",* journal of petrology 53 (2012) 299-324.